



Effekten av underväxtröjning och gallringsintensitet på skördarens effektivitet i förstagallring.

The effect of undergrowth removal and thinning intensity on the harvester's effectiveness in first thinning.



Henrik Wiklund

Arbetsrapport 2019:3
Examensarbete 30hp A2E
Jägmästarprogrammet

Handledare:
Dan Bergström

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skogens biomaterial och teknologi
S-901 83 UMEÅ
www.slu.se/sbt
Tfn: 090-786 81 00
Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Effekten av underväxtröjning och gallringsintensitet på skördarens effektivitet i förstagallring.

The effect of undergrowth removal and thinning intensity on the harvester's effectiveness in first thinning.

Henrik Wiklund

Nyckelord: Tidsstudie, produktivitet, gallring, klena träd, underväxt

Arbetsrapport 2019:3

Examensarbete i skogshushållning vid Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi, 30 hp

EX0772, A2E

Jägmästarprogrammet

Handledare: Dan Bergström, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Extern handledare: Jörgen Ingvarsson, SCA skog

Examinator: Ola Lindroos, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Sveriges lantbruksuniversitet

Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2018

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Sammanfattning

Gallring är en skogsvårdsåtgärd som syftar till att styra över virkesproduktionen på ett lägre antal stammar samtidigt som det tas tillvara på gagnvirket som genereras från de avverkade träden. Det svenska genomsnittet för drivningskostnaderna per avverkad kubikmeter i gallring är nästan dubbelt så höga jämfört vid slutavverkning.

Kostnadsökningen kommer till största del av en lägre maskinproduktivitet. Skördarens produktivitet i gallring påverkas främst av gallringsform och beståndets karaktäristik, som bland annat medelstamsvolym, antal stammar/ha, och hindrande underväxt.

Denna studie syftade till att undersöka om underväxtröjning är en kostnadsminskande åtgärd för gallringen samt att se hur olika avverkningsnivåer av klenta träd påverkar skördarens produktivitet. Studien utfördes på ett talldominerat förstagallringsbestånd med varierande medelstamsvolym. Inom beståndet lades tre block ut (vardera motsvarande en medelstamsvolym) som vardera innehöll fyra parceller. Inom varje block slumpades de fyra behandlingsmetoder ut:

- A) Underväxtröjt allt under 8,0 cm dbh, följt av gallring
- B) Ingen underväxtröjning, kvalitetsgallring med restriktion att inga klenta träd får gallras bort
- C) Ingen underväxtröjning, gallring med restriktion att 3,5% av det totala antalet gallrade träden skall vara klenta träd
- D) Ingen underväxtröjning, gallring med restriktion att 8% av det totala antalet gallrade träden skall vara klenta träd

Tidsstudien på skördaren utfördes som en frekvensstudie, där tidsåtgång och tidsfördelning per avverkad m^3fub gavs för varje tidsstuderat arbetsmoment.

Det fanns inga signifikanta skillnader på skördarens produktivitet mellan de fyra behandlingsmetoderna. Vad gäller gallringskvaliteten fanns det inte heller några signifikanta skillnader dem emellan.

Underväxtröjning var i studien endast kostnadseffektiv då skördarens produktivitet minskade med 20% till följd av hindrade underväxt, och den gallrade medelstamsvolymen var $0,05 \text{ m}^3\text{fub}$ och ett uttag på $50 \text{ m}^3\text{fub/ha}$. Dock tillhör inte detta uttag och denna beståndstyp vanligheten i norra Norrland och SCA:s skogar i området.

Nyckelord: Tidsstudie, produktivitet, gallring, klenta träd, underväxt

Summary

Thinning is a forest treatment with the aim to redirect the production of timber at a lower number of stems while recovering the harvested stems. The Swedish average cost for thinning is almost twice as high as for final felling. The higher cost is mainly the result of a lower machine productivity. The harvester's productivity in thinning depends mainly on the characteristics of the stand, such as mean stem volume, numbers of stems/ha, type of thinning and obstructive undergrowth.

This study aimed to evaluate if undergrowth clearing prior to thinning is a cost-effective treatment and to evaluate how different removal levels of trees with a diameter less 8.0 cm at a high of 1.3 meters affect the harvester's productivity. The study was carried out in a pine dominated first thinning stand with varying mean stem volume. Within the stand, three blocks were created, each containing four study units. Within each block, the four treatments were randomly allocated to the study units:

- A) All undergrowth with a breast-height (1.3 m) diameter (DBH) of less than 8.0 cm were removed, followed by quality thinning
- B) No undergrowth removal, thinning with restriction that 0% of the total amount of thinned stems should be below a DBH of 8.0 cm
- C) No undergrowth removal, thinning with restriction that 3.5% of the total amount of thinned stems should have a DBH below 8.0 cm
- D) No undergrowth removal, thinning with restriction that 8% of the total amount of thinned stems should have a DBH below 8.0 cm

The time study of the harvester was performed as a frequency study, providing time consumption and relative proportion per harvested m^3fub for the studied work elements.

There were no statistically significant differences in the harvester's productivity or thinning quality between the four treatments.

Undergrowth removal was in this study only a cost-effective treatment when the harvester's productivity decreased with 20% due the obstructive undergrowth, and the harvested mean stem volume was $0,05 \text{ m}^3\text{fub}$ and with an harvested volume of $50 \text{ m}^3\text{fub/ha}$. These type of thinning's are however not common in North Sweden.

Key words: Time study, productivity, thinning, weak trees, undergrowth

Innehållsförteckning

Bakgrund	7
Gallring	8
Underväxt och underväxtröjning	9
Skador	10
Motivering	11
Syfte	11
Frågeställningar	11
Material och metod metoder	12
Försöksdesign	12
Försöksområdet	12
Inventering	14
Före gallring	14
Efter gallring	17
Tidsstudier	18
Röjning	18
Gallring	18
Beräkningar och statistisk analys	19
Ekonomi	19
Känslighetsanalys	21
Resultat	22
Gallrade volymer och kvalitet	22
Stickvägsavstånd och stickvägsbredd	24
Skador	24
Effektivitet och produktivitet	25
Ekonomiska beräkningar	25
Skördaren	25
Underväxtröjning	26
Känslighetsanalys	26
Diskussion	28
Tolkning av resultat	28
Gallring och kvalitet	28
Effektivitet och produktivitet	28
Känslighetsanalys	29
Framtida studier	29
Styrkor och svagheter med studien	30
Slutsats	32
Referenser	33
Personlig kommunikation	34
Bilaga 1. Volymfunktion baserad på provträden	35
Bilaga 2. Nordfjells kalkyleringsmodell för skogsmaskiner	36
Bilaga 3. Comparisons for min/m3fub	37

Förord

Jag vill tacka min handledare på SCA skog Jörgen Ingvarsson och produktionsledare Martin Tegenlöv för hjälp och diskussioner under arbetets gång.

Jag vill även tacka maskinföraren och röjaren som tog sig tid att hjälpa till med examensarbetet.

Slutligen vill jag tack min handledare på SLU, Dan Bergström för bra feedback och hjälp allt eftersom arbetet tog form.

Luleå, januari 2019

Henrik Wiklund

Bakgrund

Sveriges landyta är täckt till 57% av produktiv skogsmark, vilket motsvarar 23,2 miljoner hektar, av den består drygt 8,8 miljoner hektar av gallringsskog. Det totala virkesförrådet på den produktiva skogsmarken uppgår till omkring 3 miljarder m³sk och de tre vanligaste trädslagen är tall (*Pinus sylvestris*) (39%), gran (*Picea abies*) (42%), och björk (*Betula spp.*) (12%) (Skogsstatistisk årsbok 2014). Sedan 1950-talet har den dominerade skötselmetoden i Sverige varit trakthyggesbruk som syftar till att skapa enhetliga och enkelskiftade bestånd som följer en naturlig ordningsföljd likt jordbrukets. Trakthyggesbrukets faser består av 1) förnygringsfasen, 2) ungskogsfasen, 3) gallringsfasen och 4) slutavverkningsfasen (Anon. 2012).

SCA:s skogsinnehav består av 2,6 miljoner hektar, varav 2 miljoner hektar brukas. Av de totala virkesvolymerna består 36 % av gran, 40 % tall, 15 % lövträd och 9 % contorta (*Pinus contorta*). År 2015 slutavverkades omkring 25 000 hektar och 35 000 hektar gallrades och tillsammans stod de för en avverkningsvolym på 4,91 miljoner m³f (SCA skog 2016).

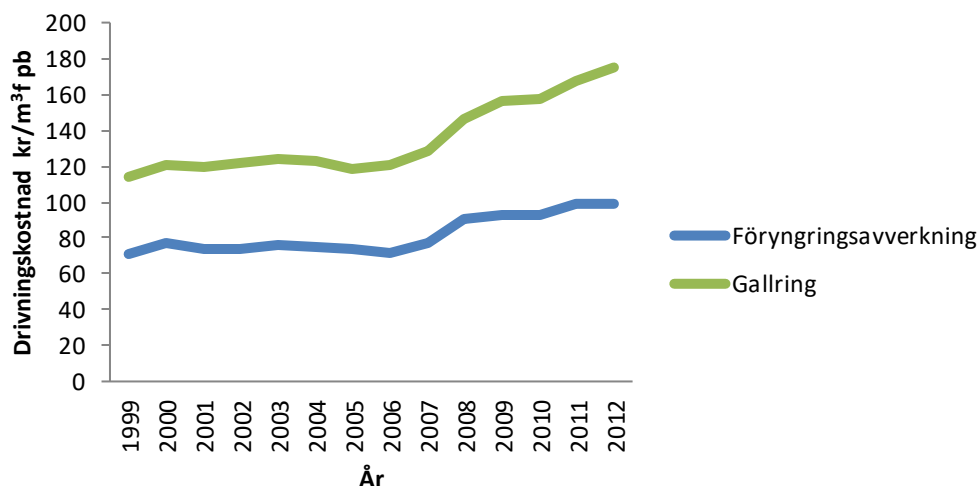
Dagens gallringar utförs till största del av helmekaniserade avverkningsgrupper bestående av en skördare och en skotare. Skördaren är den maskin som först går in i beståndet och fäller, kvistar och apterar trädet till stockar. Skördaraggregatet mäter kontinuerligt längd och diameter så att apteringen av trädet maximerar utbytet och är av stor betydelse för virkesvärdet. Stockarna sortimentfördelas i olika högar för att underlätta för skotaren. Skotaren är den maskin som står för uppsamling av stockarna och terrängtransporten från beståndet till avlägg, där det läggs i sortimentrena vältor.

Medelprestationen i gallring för skörd och skotning har mellan åren 2008 till 2011 sjunkit något i norra Sverige (Tabell 1), vilket beror på att den genomsnittligt avverkade medelstamsvolymen minskat och ett genomsnittligt längre skotningsavstånd. Hade den avverkade medelstammen varit densamma 2008 som 2011 hade dock prestationen ökat 3% visar resultatet av en sammanställning gjord av (Brunberg 2012).

Tabell 1. Prestationsdata i medeltal för gallring i norra Sverige år 2008 och 2011. G₁₅-tid innebär effektiv maskintid där avbrott upp till 15 minuter innefattas (Brunberg 1997).
Table 1. Productivity data on average for thinning in north Sweden year 2008 and 2011. G₁₅-time means effective machine time where breaks up to 15 minutes counts (Brunberg 1997).

Årtal	Prestation (m ³ fub/G15-tim)		Medelstam (m ³ fub)		Uttagsvolym (m ³ fub/ha)		Transportavstånd enkelväg (m)	
	2008	2011	2008	2011	2008	2011	2008	2011
Avverkning	9,9	9,4	0,1	0,09	48	47	-	-
Skotning	11,8	11,3	-	-	-	-	443	484

Drivningskostnaderna för förnygringsavverkning och gallring har mellan åren 1999 – 2012 ökat kraftigt i norra Norrland och övriga Sverige. År 2012 var den genomsnittliga drivningskostnaden i norra Norrland för slutavverkning 99 kr/m³fpb, en ökning med 39% och för gallring 175 kr/m³fpb, vilket motsvarar en ökning med 54% från 1999 (Figur 1) (Skogsstatistisk årsbok 2014).



Figur 1. Drivningskostnaderna i kr/m³f pb i norra Norrland för avverkning under åren 1999–2012. (Skogsstatistisk årsbok 2014).

Figure 1. Logging cost in kr/m³f pb in northern Norrland for felling under the years 1999–2012.

Nyckeln till lönsamhet i gallring är hög effektivitet på maskinerna. Ett flerträdshanterande aggregat höjer produktiviteten jämfört med enträdshanterande aggregaten och potentialen är som störst i bestånd med många uttagsstammar per hektar och med låg medelstamsvolym (0,02 – 0,05 m³fub). I dessa gallringar kan skördarens prestation öka med 15–50% genom att ersätta enträdshanterande aggregat med ett flerträdshanterande där 2–3 träd per krancykel kan hanteras samtidigt (Brunberg & Iwarsson Wide 2013).

Gallring

Gallring är en beståndsvårdande åtgärd där man tillvaratar gagnvirket. Efter en gallring har virkesproduktionen styrts över på färre antal stammar än tidigare (Agestam 2009). En förstagallring utförs när träden nått en övre höjd på mellan 10–15 meter, beroende på trädslag. Första gallringen i granbestånd görs normalt vid en övre höjd på 12–15 meter och en förstagångsgallring av tallbestånd sker normalt vid en övre höjd på 10–13 meter (Agestam 2009). Gallringsform och gallringskvot syftar till att beskriva hur gallringen utförs med avseende på avverkade samt kvarlämnade träd. De tre vanligaste gallringsformerna som appliceras i dagens skogsbruk är läggallring, höggallring och kvalitetsgallring. Läggallring syftar på att ta ut de klenare träden och har en gallringskvot under 0,9 vilket betyder att efter utförd gallring har medeldiametern och medelhöjden ökat (Agestam 2009). Höggallring har i sin tur en gallringskvot över 1,1 och uttaget syftar till att ta ut de grövre och förhärskande träden vilket medför att efter åtgärden minskar medeldiameter och medelhöjden i beståndet. Kvalitetsgallring (även kallad frigallring) har en gallringskvot mellan 0,9 och 1,1 och har efter utförd gallring ett bestånd med oförändrad medeldiameter och medelhöjd (Håkansson 2000).

SCA:s definitioner av gallringsformer skiljer sig mot den definitionen som används av Agestam (2009) och Håkansson (2000) där SCA:s definition av läggallring har en gallringskvot under 1,0 och höggallring en kvot över 1,0 (SCA skog 2010). Vid en gallring enligt SCAs definition inriktas uttaget på stammar som är skadade, krokiga, frodvuxna eller grovkvistiga träd. Träd som är raka, finkvistiga och fria från defekter gynnas. En kvalitetsgallring enligt SCA kan således båda vara en låg- och höggallring (SCA skog 2010).

Underväxt och underväxtröjning

Underväxtröjning syftar till att röja bort de klenaste träden i gallrings- och slutavverkningsskogen innan avverkning (Håkansson 2000). Den bortröjda underväxten definieras som ”ett undre skikt i beståndet av träd som inte ger gagnvirke, diametergränsen sätts oftast till mindre än 7 cm i brösthöjd” (Gunnarsson m.fl. 1992).

I Kärhä (2006) gallringsstudie fann han att granunderväxtens täthet var en kraftigt prestationsnedsättande faktor i skördarens arbete. Även underväxtens medelhöjd påverkade skördarens prestation om än inte lika mycket som tätheten (Tabell 2).

Tabell 2. Granunderväxtens prestationsnedsättande effekt på skördarens arbete i gallring med en avverkad medelstamsvolym på 0,04 respektive 0,15 m³fub, jämfört där underväxtröjning var utförd enligt Kärhä (2006)
Table 2. The spruce undergrowth's reducing effect on the harvester's productivity in thinning with an mean harvested stem volume of 0.04 and 0.15 m³fub, compared were undergrowth clearing was performed according to Kärhä (2006)

Medelstamsvolym (m ³ fub)	Medelhöjd underväxt (m)	Underväxtstammar/ha	Produktivitetsminskning (%)
0,04	1	2000	10
	2	2000	14
	3	2000	17
	2	10 000	34
0,15	1	2000	7
	2	2000	12
	3	2000	15
	2	10 000	30

I de fall där underväxtröjningens kostnad översteg den minskning i avverkningskostnader som skördarens prestationshöjning gav, var det enligt Kärhä (2006) lönsamt att utföra underväxtröjning före gallring (Tabell 3). Även vid ett relativt lågt antal underväxtstammar kan det vara lönsamt att underväxtröja enligt Kärhä (2006). Samtidigt som resultatet från en studie gjord av Gunnarsson m.fl. (1992) visar att man inte bör underväxtröja när antalet röjningsstammar understiger 1500–2000 st/ha.

Tabell 3. Gränsen enligt Kärhä (2006) för antalet underväxtstammar av gran med en medelhöjd på 2 meter då det är lönsamt att underväxtröja gallringsbestånd beroende på skördad medelstamsvolym och uttagsvolym/ha. Röd färg ger en indikation vid vilken uttagsvolym och skördad medelstam det inte var lönsamt att underväxtröja. Grön färg ger en indikation när det var lönsamt att underväxtröja

Table 3. The limit according to Kärhä (2006) for the number of undergrowth stems of spruce with an average high of 2 meters when it is profitable to do an undergrowth clearing before thinning depending on the mean harvested stem volume and harvested volume/ha. Red color gives an indication at which harvested volume/ha and average stem volume it was not profitable to do undergrowth clearing. Green color gives indication when it was profitable to remove undergrowth

Stamvolym (dm ³)	Virkesuttag (m ³ /ha)								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
40		1800	1000	600					
50		3600	1600	1000	600	600			
60			2400	1400	1000	800	600		
70			4200	2000	1200	1000	800	600	600
80			10000	2800	1800	1200	1000	800	600
90				4400	2400	1600	1200	1000	800
100				8200	3200	2000	1400	1200	1000
110					4400	2600	1800	1400	1000
120					7200	3400	2200	1600	1200
130						4400	2800	2000	1600
140						6400	3400	2400	1800

Underväxtröjning är något som SCA Norrbotten bara i undantagsfall utför inför sina gallringar och slutavverkningar. För att en underväxtröjning ska göras krävs det som riktvärde minst 5000 röjningsstammar/ha. Vid underväxtröjning röjs enbart hindrande underväxt bort, alltså ingen totalröjning utan man röjer enbart där det behövs (SCA skog 2009). En underväxtröjning i en gallring där en låg volym tas ut blir väldigt dyr om man räknar röjningskostnaden dividerat med uttagsvolymen från gallringen.

Skador

I en studie av Tahvanainen (2001) visade det sig att stamskadorna på de kvarvarande träden efter gallringen var fler där ingen underväxtröjning utförts jämfört med där man hade underväxtröjt. Andelen skadade träd var större under barmarkssäsongen, 9% utan underväxtröjning och 5,3% med underväxtröjning. Under vintersäsong var skadeandelen endast 1,4% utan underväxtröjning och 0,4% med underväxtröjning.

I studier gjorda av Isomäki & Kallio (1974) och Andersson (1984) finner de att stamskadornas omfattning kan ha varierande produktionsnedsättande följder på tillväxten i det kvarvarande beståndet. Tillväxtförluster omkring 30–40% kan förväntas om stamskadan omfattar mer än 25% av stammens omkrets, omfattas mindre än 12,5% är motsvarande tillväxtförlust omkring 5%. Först ca 10 år efter skadans uppkomst kulminerar tillväxtförlusten för att sedan minska enligt Andersson (1984).

Motivering

Ett träd som är under 8 cm i brösthöjdsdiameter (dbh) kostar mer att avverka, skota och transportera till industrin än vad det är värt när det kommer fram (Ingvarsson, 2015, pers. komm.). SCA har satt som mål att maximalt 3,5% av de avverkade träden får vara under 8 cm i dbh. De flesta avverkningslag på Norrbottens skogsförvaltning klarar detta mål bra men det skiljer sig stort mellan dem och vissa avverkningslag når ända upp mot 8% avverkade träd under 8,0 cm i dbh (Ingvarsson, 2015, pers. komm.).

Syfte

Syftet med studien var att mäta och jämföra hur effekten av underväxtröjning och gallringsintensitet påverkar skördarens prestation i förstagallring, samt att jämföra kostnader och kvalitet mellan behandlingarna.

Frågeställningar

- Hur påverkas skördarens prestation av underväxt i en förstagallring?
- Hur påverkas skördarens prestation i oröjda bestånd vid olika nivå på uttaget av träd under 8 cm i dbh i en förstagallring?
- Ger de olika behandlingsmetoderna upphov till några kvalitetsskillnader efter gallring?
- Vid vilken uttagsvolym och medelstamsvolym understiger kostnaden för underväxtröjning och gallring kostnaden för enbart gallring i oröjda bestånd?

Material och metod metoder

Försöksdesign

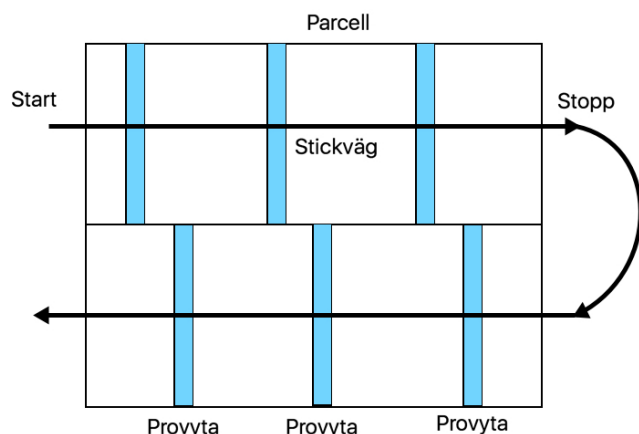
Försöket gjordes enligt följande steg:

1. Utsökning av gallringsbestånd med varierande diameterspridning och fältbesök för kontroll
2. Försöksområde bestämdes, parcellerna märktes ut och inventerades
3. Behandlingsmetoderna lottades ut
4. Underväxtröjning utfördes i 3 parceller
5. Gallring utfördes i samtliga parceller
6. Slutinventering av samtliga parceller

Försöksområdet

Försöket genomfördes i ett talldominerat förstagallringsbestånd på SCA:s fastigheter ca 1,5 mil öster om Älvsbyn i Norrbottens län. Trakten ligger på 210 meter över havsnivå och har koordinaterna 1740569 7280462. Beståndet var av varierande karaktär med avseende på medelstamsvolym och täthet. Enligt Bergs (1982) terrängtypschema bedömdes grundförhållanden, ytstruktur och lutning (GYL) subjektivt till 1:1:1. Beståndets ståndortsindex var subjektivt bedömt i trakt direktivet till T18, vilket är relativt vanligt i området (Skogsstatistisk årsbok 2014).

Inom beståndet snitslades tre block ut, där varje block representerade en beståndstyp, och inom varje block snitslades fyra parceller, 20x50 meter (0,1ha) vardera (Figur 2). Ett 50 meters måttband användes för att märka upp parcellerna och handdator för att lägga in parcellerna i trakt direktivet. Start och stopp snitslades med gult snitselband och sidorna med blå-röda snitselband. Inom varje block slumpades behandlingarna A, B, C och D (Tabell 4) ut och tilldelades en parcell (Tabell 5).

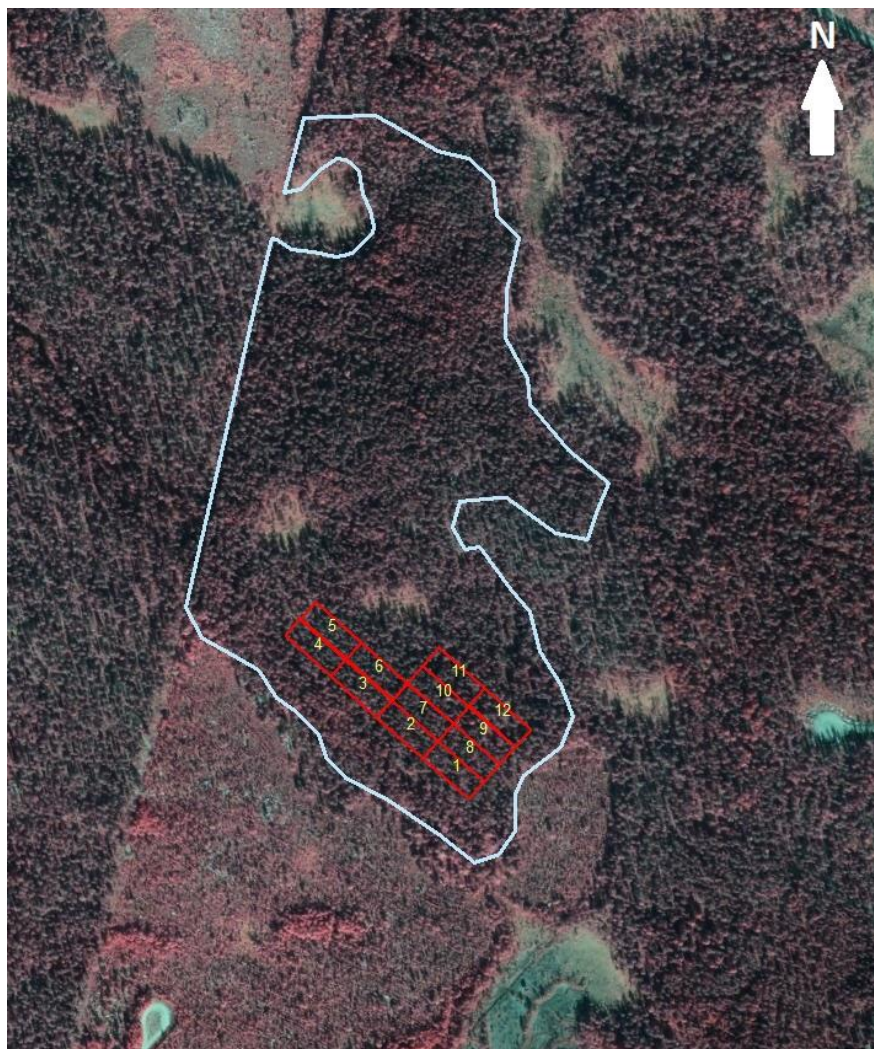


Figur 2. Schematisk översiktsbild på parceller och provytor. De två stora rektanglarna är parceller, de mörka områdena är bandprovtytor och pilarna är stickväg. **Figure 2.** Schematic overview of the study units and sample areas. The two big rectangles are study units, the dark areas are sample areas and arrows are machine trail.

Tabell 4. Beskrivning av de fyra behandlingarna. Klena träd definierades som underväxtstammar 6,0 – 7,9 cm dbh
Table 4. Description of the four treatments. Thin trees were defined as stems with a diameter between 6.0 – 7.9 cm at a high of 1.3 meters

Behandlingsmetod	Beskrivning
A	Underväxtröjt allt under 8,0 cm dbh, följt av gallring
B	Ingen underväxtröjning, gallring med restriktion att inga klena träd får gallras bort
C	Ingen underväxtröjning, gallring med restriktion att 3,5% av det totala antalet gallrade träden skall var klena träd
D	Ingen underväxtröjning, gallring med restriktion att 8% av det totala antalet gallrade träden skall var klena träd

Blocken och parcellerna lades i den sydöstra delen av avverkningstrakten (Figur 3) där medeldiameter, stamantal/ha och underväxtstammarnas antal/ha var så lika som möjligt inom blocken (Tabell 5).



Figur 3. Beståndskarta med de utlagda parcellerna som är numrerade 1–12.
Figure 3. Map over the treatment area with the study units numbered 1–12.

Inventering

Före gallring

Via systematisk bältesinventering, likt Jonsson (2015), med slumpmässig start bedömdes skogstillståndet före och efter röjning (enbart för de röjda parcellerna) samt efter gallring. Två meters breda bälten lades ut att löpa de 20 metrarna från långsida till långsida. Det första bältet slumpades ut mellan 0–8 meter från ena kortsidan och sedan lades ett nytt bälte ut systematiskt var 20:e meter. Ytterkanterna på bältesprovytorna markerades med röda plogpinnar med reflex för att lätt kunna upptäckas för maskinföraren och för att kunna användas under resterande inventering. Bandprovytan utgick från måttbandet och två meter mot andra kortsidan på parcellen. I bältesprovytorna räknades och noterades trädslag för alla träd med en höjd över 1,3 meter. Dessa träds diameter i brösthöjd (dbh, dvs vid en höjd på 1,3 meter) mättes med en dataklave (Haglöf Sweden Digitech Professional V 1.4.). Alla träd under 8,0 cm i dbh räknades som röjningsstammar, träd över 8,0 cm i dbh räknades som gallringsstammar och träd inom dbh-intervallet 6,0 – 7,9 cm räknades som klena träd. Samtliga klena träd markerades med röd sprayfärg i ett ca fem cm högt band runt om trädet i brösthöjd. Dubbelstammiga träd där klykan befann sig under 1,3 meter mättes var för sig. Gränsträd där mer än halva trädets dbh befann sig inom provytan mättes in.

Under den inledande inventeringen (Tabell 5), valdes systematiskt var fjärde gallringsstam och var fjärde klen träd ut som provträd och på varje röjningsstam under 6,0 cm dbh inom provytorna mättes höjd och dbh. 69 träd togs totalt ut som provträd och dess diameter och höjd användes i Brandels mindre volymfunktion 300 (Brandel 1990). Volymfunktionen gav stamvolym för enskilda träd i fastkubikdecimeter under bark som sedan räknades om till fastkubikmeter (m^3fub). I Minitab express gjordes sekundära volymfunktioner genom regressionsanalys med dm^3 som responsvariabel och dbh som förklarande variabel (Bilaga 1). Då det var för få provträd av gran och björk (nio respektive två provträd av totalt 69) till följd av det systematiska urvalet av provträd och de inte var spridda över de olika diameterklasserna användes volymfunktionen för tall för dessa trädslag, något som tidigare gjorts av Olovsson (2014) och Jonsson (2015).

Tabell 5. Parcellernas beståndsegenskaper innan gallring. Klena träd definieras som stammar inom intervallet 6,0 – 7,9 cm i dbh. Gallringsstammar definieras som stammar över 8,0 cm i dbh
Table 5. The study unit's characteristics before thinning. Thin trees are defining as stems with a diameter between 6.0 – 7.9 cm at a high of 1.3 meters. Thinning stems are defined as stems with a diameter over 8.0 cm at a high of 1.3 meters

Block	Parcell	Behandling (A,B,C & D)	Utgångstillstånd									Efter underväxtröjning			
			Underväxt- stammar (n/ha)	Klena träd (n/ha)	Gallrings- stammar (n/ha)	Medeldiameter (mm)	Beståndsvolym (m3fub/ha)	Bestånds- medelstamsvolym (m3fub)	Granandel (% av underväxt)	Lövandel (% av underväxt)	Medelhöjd (dm)	Underväxt- stammar (n/ha)	Differens (n/ha)	Gallrings- stammar (n/ha)	Differens (n/ha)
1	1	B	583	333	1750	132	151	0.086	43	29	53				
	2	C	2000	333	2333	119	160	0.068	42	54	45				
	3	A	1500	500	2000	150	236	0.118	17	61	57	0	-1500	2000	0
	4	D	1917	167	1417	135	125	0.088	35	30	27				
2	5	B	1417	83	2833	130	247	0.09	59	12	36				
	6	A	1917	417	2833	125	178	0.076	57	35	46	0	-1917	2833	0
	7	C	2583	583	2750	142	286	0.104	45	29	46				
	8	D	2417	917	1750	144	192	0.110	55	14	51				
3	9	A	1167	417	1000	160	134	0.134	36	29	48	0	-1167	1000	0
	10	B	1083	417	917	147	102	0.112	23	31	40				
	11	D	833	167	917	141	95	0.103	10	50	44				
	12	C	833	250	1417	152	179	0.126	60	40	50				

Tabell	6.	Behandlingsmetodernas	egenskaper	innan	gallring
Table	6.	<i>The</i>	<i>properties for each</i>	<i>treatment before</i>	<i>thinning</i>

Tabell	7.	Blockens	egenskaper	innan	gallring
<i>Table</i>	<i>7.</i>	<i>The</i>	<i>properties</i>	<i>for</i>	<i>each</i>
		<i>block</i>	<i>before</i>	<i>thinning</i>	

Stamantal (n/ha)

Diameterklasser (cm)

Legend: A (white), B (diagonal lines), C (grid), D (horizontal lines)

Diameterklasser (cm)	A (n/ha)	B (n/ha)	C (n/ha)	D (n/ha)
>6,0-8,0	650	1050	1150	1150
>8,0-10,0	850	1500	1750	550
>10,0-12,0	1350	1000	850	850
>12,0-14,0	650	1050	900	900
>14,0-16,0	1000	750	750	550
>16,0-18,0	500	850	1000	650
>18,0-20,0	600	350	550	350
>20,0-22,0	100	250	250	250
>22,0-24,0	350	150	100	100
>24,0	100	100	100	100

16

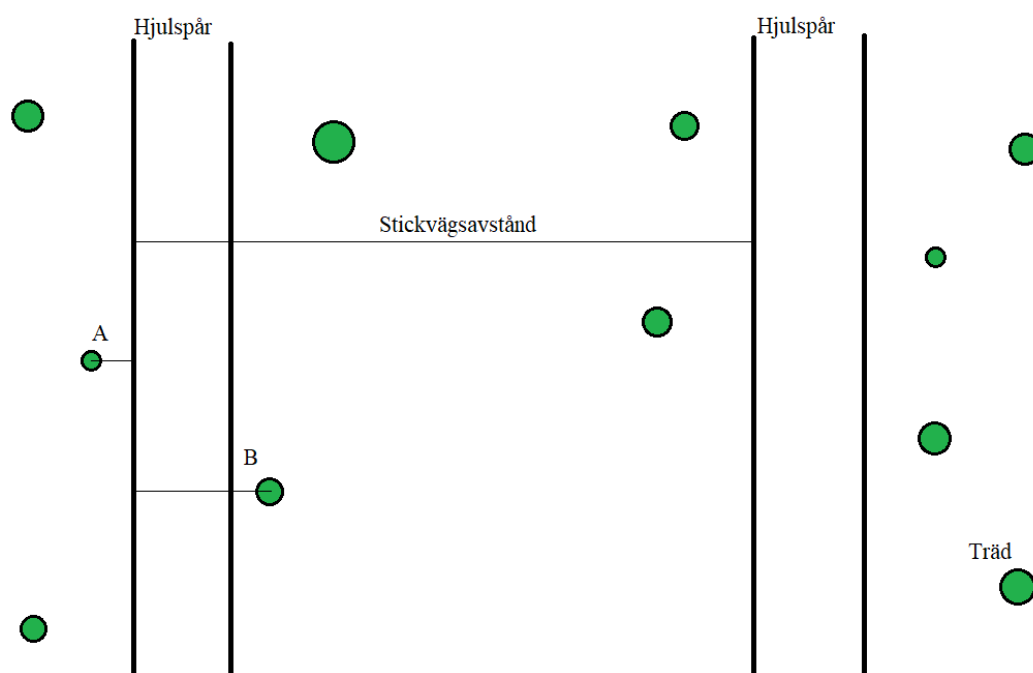
Behandling A saknar stammar i diameterklassen >6,0–8,0 cm eftersom dessa stammar var bortröjda innan gallring (Figur 4). Underväxtröjning hade ingen påverkan på antalet gallringsstammar.

Efter gallring

Ingen information från skördardata kunde fås fram för parcell 7 och saknas därför i resultaten (se Tabell 11).

Skadeinventering utfördes på alla träd över 8,0 cm i dbh i de fasta bandprovytorna i samband med slutinventeringen. Två klasser av stamskador där mer än 15 cm² påverkats ovanför tänkt stubbskär inventerades enligt Fröding (1992): 1) Barkfläkning räknas som där enbart barken berörs och 2) vedskada där skadan når in i veden så att fiberbrott kan urskiljas.

Mätning av stickvägsbredd gjordes enligt Sondells (1974) metod och mättes inom en tio meters sträcka vid det mittersta bältet, där bältet var placerat mitt på 10 meters sträckan (Figur 5). Detta innebär att från ett och samma hjulspår mättes avståndet till det närmast belägna trädets centrum på vardera sidan av stickvägen. Stickvägsavstånd mättes med hjälp av ett 50 meters måttband, vinkelrätt från ena stickvägens kant till nästa stickvägs kant.



Figur 5. Mätning av stickvägsbredd (A+B) samt stickvägsavstånd enligt Sondell (1974).
Figure 5. Measurement of machine trail width (A+B) and the distance between the strip roads according to Sondell (1974).

Tidsstudier

Röjning

Inom de tre blocken markerades alla träd som hade en dbh mellan 6,0 cm och 7,9 cm med röd sprayfärg runt hela stammen på 1,3 meters höjd, så de lätt kunde upptäckas av röjaren och skördarföraren. Inom varje block tilldelades samtliga parceller en av de fyra behandlingsmetoderna via lottning. Tre parceller, en i varje block underväxtröjdes, dvs. alla träd under 8 cm i dbh röjdes bort, av en erfaren röjare som röjt åt SCA i över 5 års tid. På förmiddagen den 9:e december 2015 startade och slutfördes röjningen och marken var då täckt av ca två cm snö. Röjningsarbetet mättes med tidtagarur och tidtagningen startade när röjaren klev in i parcellen och avslutades när röjsågen stängdes av och röjaren sa att han var klart med parcellen. Vid avbrott så som filning av klinga och tankning stoppades tidtagningen. Dvs. endast effektiv tid (G_0 -tid) mättes. De två vanliga tidsenheterna som används i skogstekniska tidsstudier är G_0 -tid vilket innefattar effektiv maskintid utan avbrott, och G_{15} -tid där avbrott upp till 15 minuter innefattas (Brunberg 1997).

Gallring

Gallringen utfördes för samtliga block den 18:e december 2015 med start vid åttatiden på morgonen och avslutades omkring fyrtiden på eftermiddagen. Under dagen då gallringen genomfördes låg det ca 10 cm snö på backen och väderförhållandena var goda utan nederbörd och vind. Maskinen som användes var en John Deere 1070E IT4 av årsmodell 2016, med ett John Deere H412 flerträdshanterade aggregat. Föraren var mycket erfaren och hade kört skördare i närmare 20 år. Under avverkning av samtliga parceller åkte författaren med i maskinhytten för att få en så bra överblick som möjligt. För varje parcell mättes totaltiden med ett tidtagarur. Skördarens arbete indelades i arbetsmoment (Tabell 8) och en frekvensstudie utfördes med en metronom med en frekvens på sju sekunder där rådande arbetsmoment registrerades. Indelning av arbetsmoment och dess inbördes prioritering gjordes likt Jonsson (2015), fast där momentet risrensning togs bort och kranarbetet fick en högre prioritering än förflyttning mellan uppställningsplatser. Om fler än ett moment utfördes samtidigt registreras det med högst prioritet. Innan start av avverkning gavs information till maskinföraren vilken behandlingsmetod aktuell parcell hade och hur den skulle gallras. För behandlingsmetod A, som var underväxtröjd sedan innan, var det fritt fram för föraren att gallra utan några restriktioner. Behandling B, där 0% klena träd skulle avverkas, var inte röjd sedan tidigare, och maskinföraren fick då alltså inte avverka något träd under 8,0 cm i dbh. Behandlingsmetod C, avverkning av 3,5% klena träd, fick maskinföraren som instruktion att i snitt skulle vart 29 träd som avverkades var ett klen träd. Motsvarande siffra för behandlingsmetod D, avverkning av 8% klena träd, var att i snitt skulle vart 12,5 träd vara ett klen träd. Tidtagningen startade när skördaraggregatet passerade den snitslade starten och avslutades när maskinföraren sa att han var klar med parcellen.

Tabell 8. Arbetsmomentsindelning, beskrivning och prioritet
Table 8. Classification of working operations, description and priority

Arbetsmoment	Beskrivning	Prioritet
Upparbetning	Positionering, fällning och upparbetning. Startar när skördaraggregatet greppar stammen och avslutas när sista biten lämnar aggregatet.	1
Kran in	Börjar då kranen för in utan gagnvirke i aggregatet och slutar då något annat moment börjar.	2
Kran ut	Börjar då kranen förs ut mot stammen och slutar då skördaraggregatet greppar stammen.	2
Förflyttning mellan uppställningsplatser	Börjar då hjulen rör sig och slutar då hjulen står stilla	3
Väntan	Tid då varken kran eller hjul rör sig eller upparbetning sker.	3
Övrigt	Inget av ovanstående, men ingående i det faktiska arbetet, t.ex. omflyttning av virke.	3
Störning	Innefattar alla avbrott och störningar som inte är knutna till arbete, t.ex. telefonsamtal, kedjebrott eller slangbyte. Tidsstudien stoppas och fortsätter efter störningen är åtgärdad	3

Beräkningar och statistisk analys

Uppgifter om uttagen volym i m³fub och antal avverkade stammar från skördardatorn användes som underlag för beräkning av skördarens produktivitet. Skördarens produktivitet beräknades för varje parcell genom att ta avverkade volymen dividerat med tidsåtgången i sekunder och multiplicera med 3600, då erhöles produktiviteten i m³fub/G₀-h.

Microsoft Excel användes för sammanställning av all data som tidsstudien genererade och Minitab express för vidare analyser med en signifikansnivå på 5% som gräns. Skillnader i stickvägsbredd, stickvägsavstånd, skador och fördelning av arbetsmoment för de olika behandlingsmetoderna samt mellan blocken analyserades med hjälp av variansanalys (ANOVA).

Produktivitetsskillnaderna i m³fub/G₀-h mellan behandlingsmetoderna togs fram med hjälp av variansanalys (ANOVA) där en linjär modell skapades. Behandlingsmetoderna sätts till fix faktor, block till slumpvis och skördad medelstamsvolym (m³fub/stam) som kovariat. Med produktionsfunktionerna som genererades kan produktiviteten mellan behandlingsmetoderna jämföras genom att normera den avverkade medelstammen.

Ekonomi

Kostnadsberäkningarna för skördarens arbete baserades på G₁₅-tid. För omräkning från effektiv tid (G₀-tid) till G₁₅-tid användes omräkningstalen 0,92 G₀-timmar/G₁₅-timmar, enl. Jonsson (2015).

Kostnaden för underväxtröjning var under 2015 för SCA satt till ett fast pris om 1400 kr/ha för Piteås distrikt (Lidman, 2015 pers. komm.).

Skördarens investeringsbelopp, flyttkostnader, maskintimmar/år och teknisk utnyttjandegrad gavs av SCA skog (Ingvarsson, 2016, pers. komm.), de resterande uppgifterna i (Tabell 9) togs ur en studie gjord av Bergkvist (2010).

Tabell 9. Ingångsvärden för maskinkostnads kalkyl för skördaren
Table 9. Input values for machine the cost estimate for the harvester

Ingångsvärden	John Deere 1070E IT4 med John Deere H412 aggregat
Investeringsbelopp exkl. moms (kr)	3 380 000
Restvärde (%)	15
Kalkylränta (%)	7
Ekonomisk livslängd (år)	4
Kostnad förare inkl. sociala avgifter (kr/G ₁₅ -timme)	300
Driftkostnad (kr/G ₁₅ -timme)	350
Flyttkostnad (kr/år)	112 500
Teknisk utnyttjandegrad (%)	85,4
Antal flyttar per år (n)	45

Maskinkostnads kalkylen (Tabell 10) baseras på ingångsvärden i Tabell 9 och beräknades med hjälp av Nordfjells (2006) kalkylmodell för skogsmaskiner (Bilaga 2).

Tabell 10. Skördarens beräknade kostnader exklusive vinstmarginal
Table 10. The harvester's calculated costs excluding profit margin

	John Deere 1070E IT4 med John Deere H412 aggregat
Kapitalkostnad (kr/år)	883 680
Rörliga kostnader (kr/G ₁₅ -timme)	650
Flyttkostnad (kr/år)	112 500
Effektiv körtid (G ₁₅ -timmar/år)	2696
Total kostnad (kr/år)	2 748 580
Timkostnad (kr/G ₁₅ -timme)	1020

Känslighetsanalys

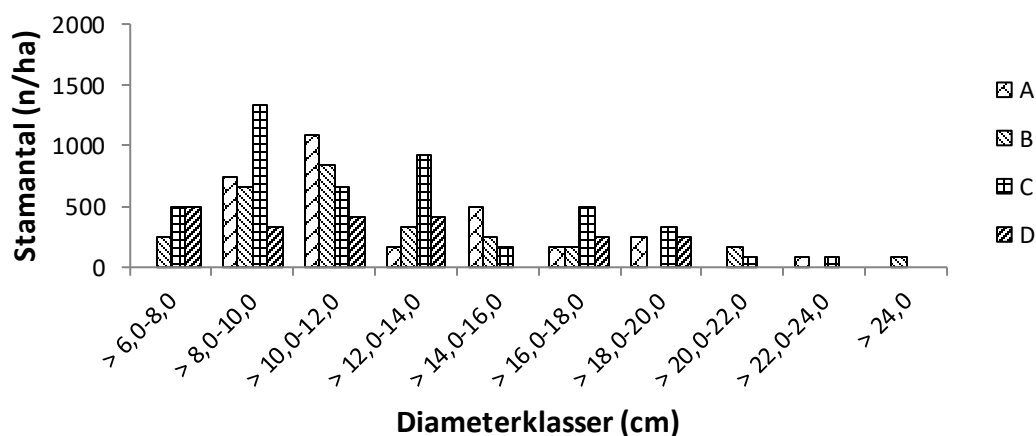
I känslighetsanalysen jämfördes skillnader i den totala avverkningskostnaden för fem olika scenarion där förutsättningar för produktivitet och kostnader varierade (Tabell 11). Två referenser, en med röjningskostnaden inkluderad och en utan för att beskriva röjningskostnadens påverkan på den totala avverkningskostnaden. Scenario ett och två baseras på underväxtens påverkan på skördaren som påvisades av Kärhä (2006). I det tredje scenariot ökade skördarens timkostnad från 1020 kr/G₁₅h till 1200 kr/G₁₅h. Scenario fyra kombinerar en ökad skördarkostnad och produktivitetssänkning. Scenario fem ökar röjningskostnaden från 1400 kr/ha till 2400 kr/ha.

Tabell 11. Känslighetsanalysens förutsättningar
Table 11. Conditions for the sensitivity analysis

Scenario	Förutsättning
1	Skördarens produktivitet minskar med 10%
2	Skördarens produktivitet minskar med 20%
3	Kostnaden för skördaren ökar till 1200 kr/G ₁₅ -h
4	Kostnaden för skördaren ökar till 1200 kr/G ₁₅ -h skördarens produktivitet minskar med 20%
5	Kostnaden för röjning ökar till 2400 kr/ha

Resultat

Gallrade volymer och kvalitet



Figur 6. Antal gallrade stammar per diameterklass för stammar över 6,0 cm i dbh fördelat per behandling
Figure 6. Harvested stem amount distributed on diameter class for stems with a diameter over 6.0 cm at a high of 1.3 meters for each treatment

I Figur 6 och diameterintervallet >6,0–8,0 cm noteras att det ser ut som att 250 av de totalt 2751 träd som avverkats i behandling B var klena träd. Dessa träd avverkade dock inte utan de knuffades omkull av skördaren eller dess aggregat och mättes då inte in i den avslutande inventeringen. För behandling C och D var det 500 klena träd färre efter gallring än före gallring, vilket motsvarar 11,5% av det totala stamuttaget för C och 23,1% för D. Detta utfall uppkom trots att för C så var i snitt vart 29:e uttaget träd ett klen träd motsvarande 3,5% och för D vart 12,5:e träd, motsvarande 8% ett klen träd.

Efter utförd gallring ökade medelstamsvolymen i 10 av 12 parceller. Den genomsnittliga uttagsvolymen var högst i block 3 med ett medel på 34,5 m³fub/ha och lägst i block 2 med ett medeluttag på 30 m³fub/ha. Högst genomsnittligt uttag hade behandling A (37,7 m³fub/ha) som var 27% högre än det genomsnittligt lägsta uttaget, behandling D (27,3 m³fub/ha) (Tabell 12).

Tabell 12. Parcellernas egenskaper efter gallring
Table 12. Characteristics of the study units after thinning

Block	Parcell	Behandling (A, B, C & D)	Gallrings- stammar (n/ha)	Medeldiameter (mm)	Beståndsvolym (m ³ fub/ha)	Bestånds- medelstamsvolym (m ³ fub)	Skördad* medelstamsvolym (m ³ fub/ha)	Uttagsvolym* (m ³ fub/ha)
1	1	B	1000	142	100	0,10	0,064	26
	2	C	500	134	44	0,09	0,068	40
	3	A	917	176	149	0,16	0,064	36
	4	D	917	130	74	0,08	0,054	24
2	5	B	1333	134	109	0,09	0,058	25
	6	A	583	146	60	0,10	0,046	30
	7	C	1167	149	131	0,11	-	-
	8	D	917	163	132	0,14	0,058	35
3	9	A	833	151	99	0,12	0,068	47
	10	B	833	149	96	0,11	0,074	34
	11	D	583	144	65	0,11	0,052	23
	12	C	750	162	106	0,14	0,079	34

*Beräknat från skördardatat

Det fanns inga signifikanta skillnader i beståndens karaktär efter gallring vad gäller det kvarvarande antalet gallringsstammar, beståndets medelstamsvolym samt den skördade medelstamsvolymen mellan varken behandlingarna eller blocken (Tabell 13 & 14).

Tabell 13. Behandlingarnas egenskaper efter gallring
Table 13. The properties for each treatment after thinning

Variabel	Behandlingsmetod								p- värde
	A	B	C	D					
Gallringsstammar (n/ha)	811	119	1055	255	806	337	806	193	0.526
Beståndmedelstamsvolym (m ³ fub)	0.127	0.031	0.100	0.010	0.113	0.025	0.110	0.030	0.652
Skördad medelstamsvolym (m ³ fub)	0.059	0.012	0.065	0.008	0.074	0.008	0.055	0.003	0.163

* Standardavvikelse

Tabell 14. Blockens egenskaper efter gallring
Table 14. The properties for each block after thinning

Variabel	Block						p- värde
	1	2	3				
Gallringsstammar (n/ha)	834	226	1025	285	750	118	0.248
Beståndmedelstamsvolym (m ³ fub)	0.108	0.036	0.110	0.022	0.120	0.014	0.771
Skördad medelstamsvolym (m ³ fub)	0.063	0.006	0.054	0.007	0.068	0.012	0.166

* Standardavvikelse

Stickvägsavstånd och stickvägsbredd

Inga signifikanta skillnader kunde urskiljas för stickvägsavstånd och stickvägsbredd mellan behandlingsmetoderna (Tabell 15) eller mellan blocken (Tabell 16).

Tabell 15. Stickvägsavstånd och stickvägsbredd per behandling
Table 15. Distance between the machine trail and machine trail width for each treatment

Variabel	Behandlingsmetod								p-värde
	A		B		C		D		
	Medelvärde	σ^*	Medelvärde	σ^*	Medelvärde	σ^*	Medelvärde	σ^*	
Stickvägsbredd (dm)	39.80	3.18	41.70	6.52	54.67	15.54	39.00	2.50	0.172
Stickvägsavstånd (m)	19.10	1.37	18.80	2.33	19.30	2.52	19.60	1.35	0.964

* Standardavvikelse

Tabell 16. Stickvägsavstånd och stickvägsbredd per block
Table 16. Distance between the machine trail and machine trail width for each block

Variabel	Block						p-värde
	1		2		3		
	Medelvärde	σ^*	Medelvärde	σ^*	Medelvärde	σ^*	
Stickvägsbredd (dm)	43.25	6.98	40.63	1.80	47.50	16.66	0.658
Stickvägsavstånd (m)	19.60	2.21	18.65	1.74	19.33	1.12	0.738

* Standardavvikelse

Skador

Inga signifikanta skillnader fanns varken mellan behandlingarna (Tabell 17) eller mellan blocken (Tabell 18).

Tabell 17. Stamskador per hektar per behandling
Table 17. Stem injuries per hectare for each treatment

Variabel	Behandlingsmetod								p-värde
	A		B		C		D		
	Medelvärde	σ^*	Medelvärde	σ^*	Medelvärde	σ^*	Medelvärde	σ^*	
Stamskador (n/ha)	0	0,00	22.10	38.28	44.77	37.07	44.7	38.73	0.3664

* Standardavvikelse

Tabell 18. Stamskador per hektar per block
Table 18. Stem injuries per hectare for each block

Variabel	Block						p-värde
	1		2		3		
	Medelvärde	σ^*	Medelvärde	σ^*	Medelvärde	σ^*	
Stamskador (n/ha)	32.65	37.77	49.53	33.02	0	0	0.099

* Standardavvikelse

Effektivitet och produktivitet

Det var ingen signifikant skillnad i tidsåtgång mellan behandlingarna (Tabell 19).

Tabell 19. Arbetsmomentens tidsåtgång per avverkad m³fub i minuter per behandling
Table 19. The working operations time consumption for every harvested m³fub in minutes for each treatment

Arbetsmoment	Tidsåtgång per avverkad kubik (min/m3fub)								Arbetstidens fördelning (%)				
	A		B		C		D		p-värde	A	B	C	D
	Medelvärde	σ*	Medelvärde	σ*	Medelvärde	σ*	Medelvärde	σ*					
Upparbetning	3.35	0.49	3.07	0.21	2.92	0.6	3.55	0.15	0.333	62.73	57.17	63.89	62.17
Kran in	0.25	0.12	0.24	0.11	0.16	0.1	0.23	0.17	0.861	4.68	4.47	3.50	4.03
Kran ut	0.91	0.22	0.93	0.19	0.76	0.12	1.13	0.19	0.281	17.04	17.32	16.63	19.79
Förflyttning	0.73	0.4	1.02	0.32	0.63	0.12	0.77	0.31	0.584	13.67	18.99	13.79	13.49
Väntan	0.1	0.09	0.08	0.1	0.1	0.1	0.06	0.07	0.911	1.87	1.49	2.19	1.05
Annat	0.01	0.02	0.05	0.09	0	0	0	0	0.576	0.19	0.93	0.00	0.00
Störning	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Totalt tidsåtgång	5.34	1.13	5.37	0.7	4.57	0.85	5.71	0.32	0.518	100.00	100.00	100.00	100.00
* Standardavvikelse													

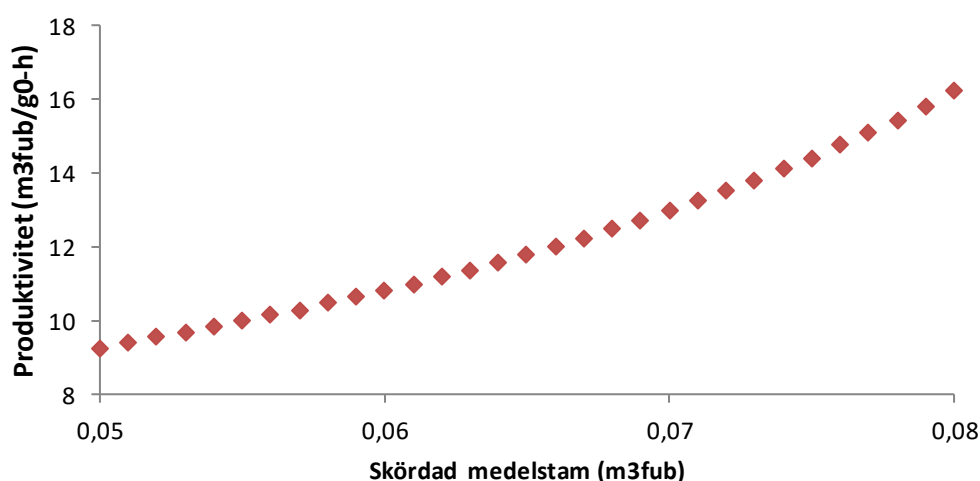
* Standardavvikelse

Den variansanalys som gjordes visar att skördarens prestation signifikant påverkas av skördad medelstamsvolym (m³fub), p-värde <0,001. Vad gäller behandlingsmetod så påverkades inte skördarens prestation signifikant, p-värde 0,082 och med en förklaringsgrad R²-adjusted = 90,79 (Bilaga 3). Då det visade sig att det inte fanns någon signifikant skillnad mellan behandlingsmetoderna gjordes istället en generell tidsåtgångsfunktion innefattande samtliga behandlingar. Tidsåtgångsfunktionen nedan togs fram via variansanalysen (Bilaga3) och används för att beskriva skördarens produktivitet beroende på skördad medelstamsvolym (m³fub) (Figur 7).

Behandlingsmetod Generell: P = 11,081 - 92,3 * S

P = skördarens tidsåtgång i min/m³ fub

S = skördad medelstam i m³fub



Figur 7. Generell prestationsfunktion för skördaren (m³fub/G₀-h) beroende på avverkad medelstamsvolym (m³fub)

Figure 7. General function for the harvester's productivity (m³fub/G₀-h) depending on the mean harvested stem volume (m³fub)

Ekonomiska beräkningar

Skördaren

Genom att öka medelstamsvolymen i gallringen från 0,05 m³fub till 0,08 m³fub så ökade skördarens produktivitet med 75 % (Figur 7), vilket resulterade i att avverkningskostnaden minskade med 43 % (Tabell 20).

Tabell 20. Gallringens avverkningskostnad baserad på en medelstamsvolym på 0,05 samt 0,08 m³fub och en skördarkostnad 1020 kr/G₁₅-h.
Table 20. The harvesting cost for the thinning based on an mean harvest stem volume by 0,05 and 0,08 m³fub and a cost for the harvester on 1020 kr/G₁₅-h.

Medelstam (m ³ fub)	Produktivitet (m ³ fub/G ₁₅ -h)	Avverkningskostnad (kr/m ³ fub)
0,05	8,5	119,4
0,08	14,9	68,3

Underväxtröjning

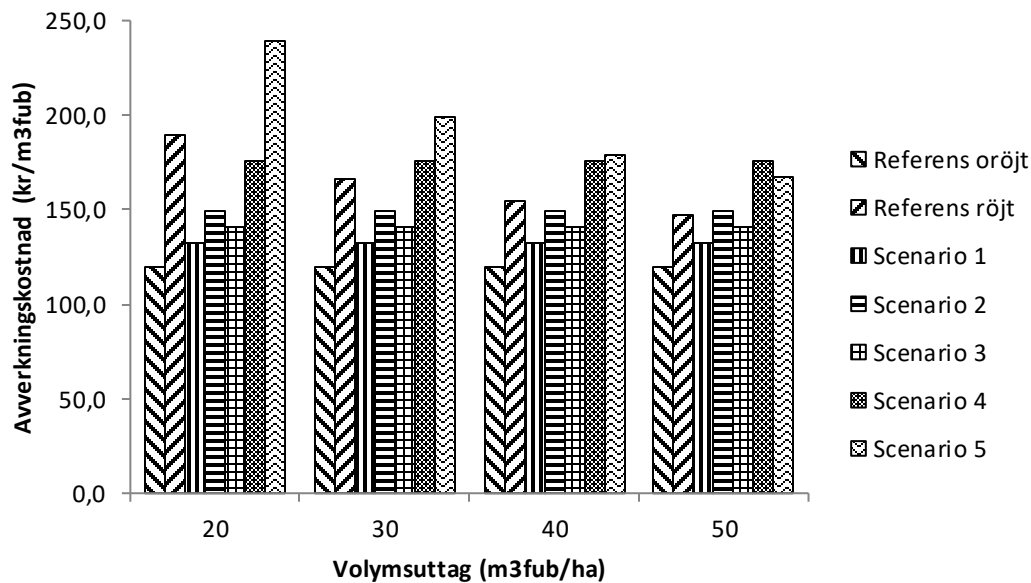
Röjningskostnaden vid ett gallringsuttag mellan 20–50 m³fub/ha varierade mellan 28–70 kr/m³fub, baserat på en fast röjningskostnad om 1400 kr/ha (Tabell 21).

Tabell 21. Underväxtröjningsens kostnad i kr/m³fub vid ett volymsuttag på 20–50 m³fub/ha
Table 21. The pre-cleaning cost in kr/m³fub at a harvested volume between 20–50 m³fub/ha

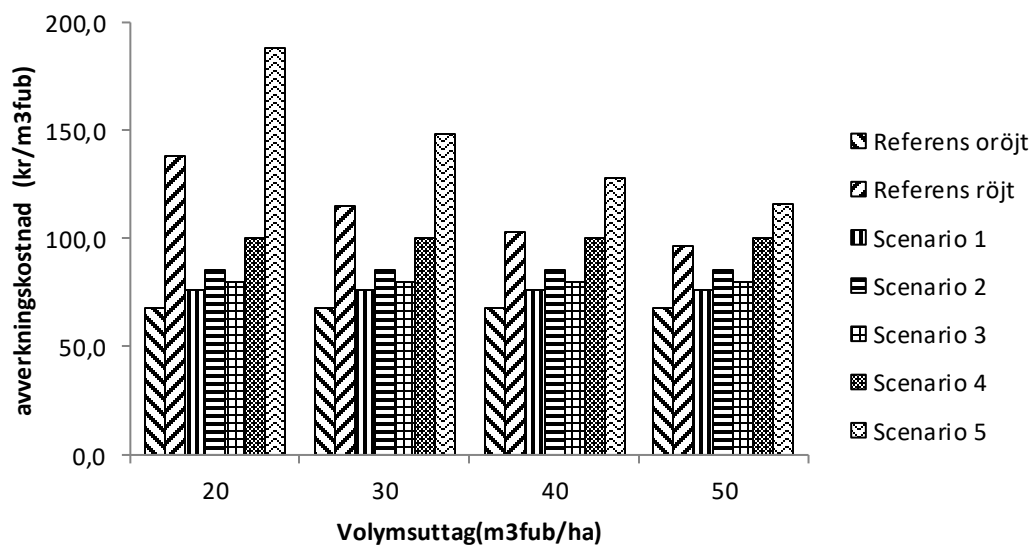
Volymsuttag (m ³ fub/ha)	Röjningskostnad (kr/m ³ fub)
20	70,0
30	46,7
40	35,0
50	28,0

Känslighetsanalys

Vid en skördad medelstamsvolym på 0,05 m³fub och ett volymsuttag på 50 m³fub/ha så var underväxtröjning en kostnadssänkande åtgärd i scenario två samt scenario fyra (Figur 8). Vid en skördad medelstamsvolym på 0,1 m³fub var underväxtröjning endast en kostnadssänkande åtgärd vid scenario 4 vid ett volymsuttag på 50 m³fub (Figur 9).



Figur 8. Jämförelse av avverkningskostnaden för scenario (1–5) samt referensvärden för röjt samt oröjt vid en avverkad medelstamsvolym på 0,05 m³fub.
Figure 8. Comparison of the harvesting cost between scenarios (1–5) and reference values for cleaned and uncleaned at a harvested mean stem volume of 0,05 m³fub.



Figur 9. Jämförelse av avverkningskostnaden för scenario (1–5) samt referensvärden för röjt samt oröjt vid en avverkad medelstamsvolym på 0,1 m³fub.
Figure 9. Comparison of the harvesting cost between scenarios (1–5) and reference values for cleaned and uncleaned at a harvested mean stem volume of 0,1 m³fub.

Diskussion

Tolkning av resultat

Gallring och kvalitet

Resultatet påvisar att det inte fanns några signifikanta skillnader mellan behandlingarna vad gäller stickvägsbredd, stickvägsavstånd, fördelning arbetsmoment eller skadefrekvens. Dock var det enbart i parcellerna tillhörande behandling A, där underväxtröjning utfördes innan gallring, som helt saknade stamskador. Att skillnaderna var så pass små mellan behandlingarna A, B, C och D kan bero på att löven hade släppt och underväxten inte utgjorde något vidare siktbekymmer för skördarföraren. Tahvanainen (2001) visade att oberoende av årstid så hade underväxtröjda bestånd en lägre andel skador efter gallring än bestånd som inte var underväxtröjda. Barmarkssäsongen hade i jämförelse med vintersäsongen ca 13 gånger högre skadefrekvens i röjda bestånd och ca 6 gånger högre i oröjda bestånd. Lägger vi till den tillväxtnedsättande effekten av stamskadorna på det kvarvarande beståndet enligt studier av Isomäki & Kallio (1974) och Andersson (1984) kan den slutliga kalkylen bli annorlunda och underväxtröjning kanske inte blir fullt så kostsam som resultaten visar på.

Andelen klena träd i den inledande inventeringen var mellan 13–23% av de totala antal stammar över 6,0 cm i dbh för behandlingarna A, B, C och D (Tabell 6) och på blocknivå var motsvarande siffra 15–23% (Tabell 7). Andelen stickväg för varje behandling blev mellan 20–27% (Tabell 15) och på blocknivå 20–24% (Tabell 16). Om det förutsätts att alla klena träd var jämt spridda inom parcellerna så motsvarar det en avverkningsnivå av klena träd på mellan 2,7–4,6% av alla träd över 6,0 cm i dbh på behandlingsmetodsnivå och mellan 3,3–5,4% på blocknivå. Utifrån ovan givna förutsättningarna har samtliga stickvägar omkring eller strax över SCA:s mål på max 3,5% avverkade klena träd bara i stickvägarna. I denna studie framgick det inte hur stor andel av de klena träden som faktiskt var inom stickvägen eller dess spridning inom parcellerna. Anmärkningsvärt är att det i (Tabell 6) ser ut som att det gallrats bort 11,5% klena träd i behandlingsmetod C, och 23,1% klena träd i behandlingsmetod D. Detta är anmärkningsvärt eftersom skördarföraren endast gallrad ut i genomsnitt vart 29:e träd i behandlingsmetod C, och vart 12,5:e träd i behandlingsmetod D. En förklaring till detta skulle kunna vara om de flesta klena träden gallrades ut inom bandprovytorna.

Effektivitet och produktivitet

Enligt Skogsstatistisk årsbok (2014) var medelprestationen för skördaren i gallring i norra Norrland under 2011 9,4 m³fub/G₁₅-h och med en medelstamsvolym på 0,09 m³fub. I denna studie var medelprestationen 19,9 m³fub/G₁₅-h vid motsvarande medelstamsvolym. Det betyder att i denna studie var skördaren 112 % effektivare än vad snittet 2011 var i norra Norrland. Detta kan kanske till viss del förklaras genom att skördarföraren ville prestera lite extra bra under tiden han hade en person till i hytten som mätte dennes prestation. En annan faktor som har kunnat bidra till denna skillnad är att under tiden denna studie utfördes fanns det inga avbrott i avverkningsarbetet, det vill säga att all tidsåtgång under studien åtgick till att gallra. Då studiematerialet är för litet för att kunna ta fram ett realistiskt G₁₅ värde för studien

användes ett omvandlingstal för att få G₀-tid till G₁₅-tid. För att kunna jämföra produktivitet och ekonomi med andra studier användes omräkningstalet 0,92 G₀-timmar/G₁₅-timmar som Jonsson (2015) använde sig av efter personlig kontakt med (Brunberg, 2015, per. komm.).

Antalet röststammar/ha (Tabell 5) var i denna studie lägre än vad som är i riktlinje för när SCA utför underväxtröjning innan gallring (SCA skog 2009). Hade antalet röststammar/ha vart högre så skulle det i högre grad kunna påverka skördarens produktivitet, detta är något som Kärhä (2006) visar i sin gallringsstudie.

Att använda sig av underväxtröjning kan medföra produktivitetsökningar på den enskilda gallringen för skördaren. Det finns även fler vinster sett till ett större perspektiv med att använda sig av underväxtröjning, så som den avverkade medelstamsvolymen kan öka på årsbasis och det vidare att den totala årsproduktionen för skördaren kan öka. Det i sin tur kan medföra att färre avverkningsresurser krävs för att avverka den totala årsvolymen inom ett område.

Känslighetsanalys

I känslighetsanalysen studerades avverkningskostnaden för enbart skördaren, samt den sammanslagna kostnaden för skördaren och underväxtröjningen enligt de scenarion som återfinns i Tabell 11. Underväxtröjning var enligt analysen inte en kostnadsminskande åtgärd med försöksytornas givna förutsättningar vid en avverkad medelstamsvolym på 0,05 och 0,1 m³fub (Tabell 5). Vid kraftig underväxt antogs skördarens produktivetsminskning enligt Kärhä (2006) och underväxtröjning var endast en kostnadsminskande åtgärd i scenario 2 där underväxten påverkade skördarens produktivitet negativt med 20% vid en avverkad medelstamsvolym på 0,05 m³fub och ett volymsuttag på över 50 m³fub/ha. Volymsuttaget låg i medel på 32,2 m³fub/ha för samtliga parceller och det enskilt högsta uttaget var på 47 m³fub/ha (Tabell 12). Dvs samtliga parceller hade ett uttag som var lägre än de 50 m³fub/ha i uttagsvolym där underväxtröjningen blev en kostnadsbesparande åtgärd. Vad gäller den avverkade medelstamsvolymen så var den i medel 0,062 m³fub vilket är 24% mer volym per träd än vad som var lönsamt att underväxtröja i känslighetsanalysen (Tabell 12). Ökade röjningskostnaden från 1400 kr/ha till 2400 kr/ha så var det alltså enbart lönsamt med underväxtröjning ifall både timpriset på skördaren ökade samt att produktiviteten kraftigt sjönk (scenario 4) vid ett volymsuttag på över 50 m³fub/ha samt en medelstamsvolym på 0,05 m³fub. Att ha ett volymsuttag på 50 m³fub/ha och en uttagen medelstamsvolymen på 0,05 m³fub betyder att 1000 stammar gallras ut. Detta är inget typiskt uttag i norra Norrland generellt och inte heller för SCA som har ett betydligt lägre genomsnittligt volymsuttag per hektar i gallring.

Framtida studier

Studiens syfte var att se hur avverkningsnivån av klena träd påverkade skördarens produktivitet i en förstagallring, men i studien påvisades inte på några signifikanta skillnader mellan behandlingsmetoderna. Det skulle vara intressant att se om det blev några tydligare produktivitetsskillnader om man upprepat samtliga behandlingsmetoderna fler gånger. Då det finns många tidigare studier om hur underväxt påverkar produktiviteten i gallringar skulle man kunna utesluta den behandlingsmetoden och istället fokusera mer på de olika avverkningsnivåerna av

klena träd. Beroende på vilken årstid man väljer att göra studien på och vad för typ av skog man lägger försöket i så kommer man att få ta hänsyn till hur underväxten påverkar prestationen då lövträden under vintern saknar löv.

En annan faktor som skulle kunna ha påverkat produktionen är i början och slutet av studiedagen. Antingen genom att studien utfördes under en tid på året som har längre dagar eller att man delat upp arbetet under fler dagar för att utesluta den eventuella felkällan som mörkret kan ha gett upphov till. Mörker kan även försvåra möjligheten att upptäcka skador eller andra defekter på de upparbetade träden men även på kvarvarande beståndet där man eftersträvar att lämna träd som har bäst förutsättningar och ta bort de med sämst (SCA skog 2009). Förarens förmåga att gallra bort de önskade träden och lämna de med högst kvalitet påverkar sannolikt beståndets värde på lång sikt. Vintertid om snödjupet är påtagligt så måste skördarföraren greppa runt trädet och sen mata ner aggregatet i snön för att få så låga stubbar som möjligt och för att få ut det mesta av virket, vilket är något som både tar tid och ökar risken för produktionsavbrott. Vid jämförelser med liknande produktionsstudier som utförts vintertid är detta viktiga faktorer att ta hänsyn till.

Man kan även fråga sig huruvida underväxtröjning och dessa klena träd påverkar prestation och ekonomi i framtida gallringar och slutavverkning. Beroende på inväxt efter underväxtröjning kan den även ge en kostnadsminskning för framtida skogliga åtgärder trots att det inte gav en totalt billigare avverkning i förstagallringen. Klena träd som lämnas har också en chans att växa till sig så att de vid senare skogliga åtgärder kan vara mer ekonomiskt försvarbara att avverka.

Styrkor och svagheter med studien

Den systematiska bältesinventeringen där tre stycken två meters breda band med slumpmässig start användes för att beskriva parcellernas karaktär gav en inventering på 12 % av parcellens yta. I detta fall gav det en stor skillnad mellan de beräknade uttagen och de verkliga uttagen. I 10 av 12 parceller indikerade bältesinventeringen på ett högre uttag än det skördade uttaget. Nivåerna mellan den beräknade uttagsvolymen efter bältesinventeringen och den avverkade volymen taget från skördardatat skiljer sig som mest för parcell 5. I denna parcell var uttaget från bältesinventeringarna 138 m³fub/ha medan uttaget från skördardatat var 25 m³fub/ha, en differens på 113 m³fub/ha. I genomsnitt var skillnaden mellan den inventerade uttagsvolymen och den avverkade volymen 45 m³fub/ha (Tabell 5 & 11).

Stickvägsbredd för behandling C fick ett högt snitt eftersom att i en av parcellerna hamnade mätningen i en lucka utan träd nära stickvägen (Tabell 14). Här skulle man kunnat göra ett avsteg från instruktionen om hur man mäter stickvägsbredd och lagt den på en mer representativ plats längst stickvägen och gjort en notering om detta.

Denna studie fokuserades enbart på skördarens prestation och därför valdes att inte ta med underväxtens påverkan på skotare. För att praktiskt tillämpa resultatet från studien borde även skotarens prestation tagits med och analyserats. Kärhä (2006) visade att även skotarens prestation påverkades i gallring där det finns granunderväxt. Produktivitetsnedsättningen var 1–2% vid 2000 underväxtstammar/ha och 5–7% vid 10 000 underväxtstammar/ha jämfört där underväxtröjning utförts.

Fördelen med att använda sig av en frekvensstudie är att den är relativt tidseffektiv jämfört mot en kontinuerlig mätning. En fördel med en kontinuerlig tidsstudie är att man kan få en mer exakt fördelning på arbetsmomenten än en frekvensstudie. Att filma studien och i efterhand studera materialet har sina fördelar, bland annat för att personen som utför studien inte behöver vara lika uppmärksam och bestämma vilket arbetsmoment som utförs direkt i fält utan det kan göras i efterhand. Svårigheter finns med att filma en arbetande skördare i gallring, exempel på detta är underväxten som skulle kunna hindra att man ser det exakta arbetsmomentet men även säkerhetsavståndet på 90 meter mellan människa och arbetande maskin skulle gjort det väldigt svårt att få ett bra filmmaterial. Filminspelning kan även göras inifrån hytten, dock har det sina nackdelar då filmen tenderar att bli skakig och ha begränsad sikt.

Det höga uttaget i diameterklasserna $>8,0 - 10,0$ cm samt $>10,0 - 12,0$ cm (Figur 6) kan bero på att alla träd i diameterintervallet $>6,0 - 8,0$ cm färgmärktes. Genom färgmärkningen behövde föraren inte själv göra bedömningen om trädet har en dbh över eller under 8,0 cm, som är den övre gränsen för att klassas som ett klen träd och därigenom kunde beslut tas snabbare om vilka träd som skulle gallras bort.

Upplägget av parcellerna hade kunnat göras annorlunda. Jag markerade ut parcellerna kloss mot varandra i bredd enligt Figur 3. Det kan ha bidragit till att skördarföraren arbetade annorlunda mot vad denne skulle gjort i normala fall eftersom föraren alltid höll sig inom markerad parcell, både med maskin och aggregat. Terrängförutsättningar eller variationer i beståndet är faktorer som kan göra att skördarföraren varierar stickvägsavståndet och stickvägsbredden.

Slutsats

Studien visar att:

- De fyra olika behandlingsmetoderna, där uttagsnivån av träd under 8,0 cm dbh varierade mellan 0 – 8% av det totala stamuttaget, varav en behandlingsmetod även var underväxtröjd innan gallring, inte gav några signifikanta skillnader på skördarens produktivitet.
- Det fanns inga signifikanta skillnader i gallringskvalitet med avseende på stickvägsbredd, stickvägsavstånd och skador mellan behandlingsmetoderna eller blocken (beståndstyperna).
- Det inte var ekonomiskt lönsamt att underväxtröja innan gallring i de studerade bestånden då röjningskostnaden överstiger besparingen i skördarens arbete.
- Underväxtröjning var en kostnadseffektiv åtgärd innan gallring då uttaget var $>50 \text{ m}^3 \text{fub/ha}$ och den avverkade medelstammen var $0,05 \text{ m}^3 \text{fub}$, förutsatt att underväxt sänker produktiviteten med 20%. Dock tillhör inte detta uttag och denna beståndstyp vanligheten i norra Norrland och SCA:s skogar i området.

Referenser

Agestam, E. (2009). Skogsskötselserien–Gallring. Skogsstyrelsens förlag, Jönköping.

Andersson, L. (1984). Inverkan av stamskador på tillväxten hos tall. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift nr 5/84.

Albrektsson, A., Elfving, B., Lundqvist, L. & Valinger, E (2012). Skogsskötselserien–Skogsskötselns grunder och samband. Skogsstyrelsens förlag, Jönköping.

Berg, S. (1982). Terränstypsschema för skogsarbeten. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Kista, 28 pp. ISBN: 91-7614-035-0.

Bergkvist, I. (2010). Tvåskift är billigast, men låga räntor minskar gapet mot enkelskift. Skogforsk, Uppsala. Resultat nr 5.

Brandel, G. (1990). Volymfunktioner för enskilda träd. Tall, gran och björk. Sveriges Lantbruksuniversitet, institutionen för skogsproduktion, rapport nr 26.

Brunberg, T. (1997). Underlag för produktionsnorm för engreppsskördare i gallring. Skogforsk, Redogörelse nr 8.

Brunberg, T. (2012). Produktiviteten vid drivning från 2008 till 2011. Skogforsk. Resultat 9-2012.

Brunberg, T. & Iwarsson Wide, M. 2013. Underlag för prestationshöjning vid flerträdshantering i gallring. Skogforsk. Arbetsrapport nr. 796-2013.

Fröding, A. (1992). Beståndsskador vid gallring. Diss. Garpenberg: Sveriges Lantbruksuniversitet.

Gunnarsson, P., Hellström, C. & Scherman, S. (1992). Gallring i bestånd med underväxt. (Handledning från Skogforsk). Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut. ISBN: 91-7614- 080-6

Håkansson M. (2000). Skogsencyklopedin – 8400 artiklar och ordförklaringar. Sveriges Skogsvårdsförbund.

Isomäki, A. & Kallio, T. (1974). Consequences of Injury Caused by Timber Harvesting Machines on the Growth and Decay of Spruce (*Picea abies* (L) Karst.) Acta Forestalia Fennica vol 136.

Jonsson, F. (2015). Hur påverkar avlövad underväxt kvaliteten och drivningskostnaden i gallring? Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogens biomaterial och teknologi. Arbetsrapport 2015:8.

Kärhä, K. (2006). Profitability of pre-clearance in first-thinning Scots pine stands. *Scandinavian Forest Economics*, No. 41. 2006: 137- 146.

Nordfjell, T. 2006. Kalkylmodell för skogsmaskiner. Inst. f. skoglig resurshushållning, SLU, Umeå. Stencil.

Näslund, M. 1947. Funktioner och tabeller för kubering av stående träd. *Meddelanden från Statens skogsforskningsinstitut* 36 (3): 1-81.

Olovsson, J. (2014). Effekten av aggregattyp och skördad medelstamvolym på skördarens produktivitet och ekonomi i slutavverkning. Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogens biomaterial och teknologi. Arbetsrapport 2014:15.

SCA skog (2009). Instruktion underväxtröjning. Sundsvall: SCA skog [Broschyr]

SCA skog (2010). *Så här ska du gallra*. 3. uppl. Sundsvall.

SCA skog. (2016-04-14). Om SCA skog. Tillgänglig:
<http://www.sca.com/sv/skog/Om-SCA-Skog/> [2016-05-08]

Skogsstatistisk årsbok 2014. Skogsstyrelsen. Jönköping. ISBN 978-91-87535-05-5

Sondell, J. (1974). Mätning av stickvägsareal. *Forskningsstiftelsen Skogsarbeten* 1974.

Tahvanainen, M. (2001). On the effects of advance clearing of undergrowth when applying mechanised thinning. *TTS Institute, Forestry Bulletin* 638. 4 pp.

Personlig kommunikation

Ingvarsson, Jörgen. Produktionschef, SCA skog, Norrbottens förvaltning. 2015-09-07

Ingvarsson, Jörgen. Produktionschef, SCA skog, Norrbottens förvaltning. 2016-02-18

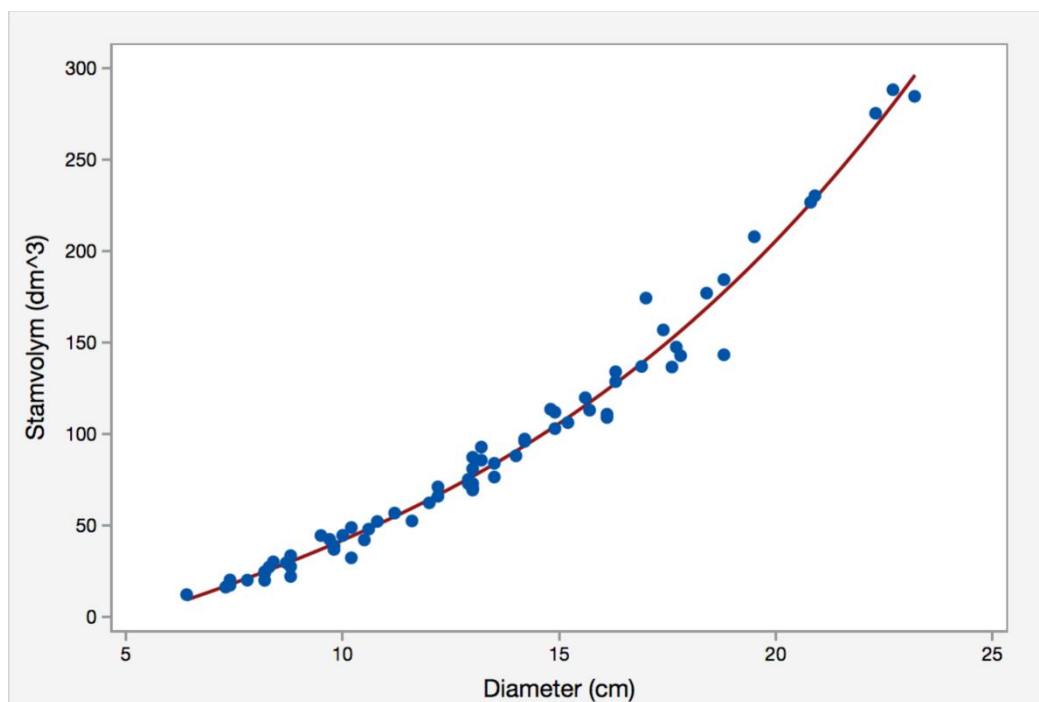
Lidman, Linus. Skogsvårdsledare, SCA skog, Norrbottens förvaltning 2015-12-17

Bilaga 1. Volymfunktion baserad på provträden

$$\text{Stamvolym (dm}^3\text{)} = -41,72 + 8,615(\text{Diam dbh(dm)}) - 0,2387(\text{Diam dbh(dm)})^2 + 0,02133(\text{Diam dbh(dm)})^3$$

P-värde < 0,0001

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
8,94885	98,31%	98,23%	98,04%



Bilaga 2. Nordfjells kalkyleringsmodell för skogsmaskiner

Kalkylering för ett oändligt stort bestånd och en maskin

- | | | |
|-----|--|--|
| (1) | $D_k = T_k/P$ | D_k = Drivningskostnad för aktuell maskin
(kr/m ³ fub) |
| (2) | $T_k = F_k + R_k$ | P = Produktivitet (m ³ fub/tim)
T_k = Total kostnad (kr/tim)
F_k = Fast kostnad (kr/tim)
R_k = Rörlig kostnad (kr/tim) |
| (3) | $F_k = (K + U_f)/S$ | K = Kapitalkostnad (kr/år)
U_f = Fast underhållningskostnad (kr/år)
S = Systemtid (tim/år) |
| (4) | $R_k = U_r + D_m + F_1$ | U_r = Rörlig underhållningskostnad (kr/tim)
D_m = Drivmedelskostnad (kr/tim)
F_1 = Förarlön (kr/tim) |
| (5) | $K = (I - R_n) \times A$ | I = Investeringsbelopp (kr) |
| (6) | $R_n = R \times (1 - i)^{-n}$ | R_n = Restvärdets nuvärde (kr)
A = Amorteringsfaktor (Annuitetsfaktor)
R = Restvärde (kr)
I = Kalkylränta (%/100) |
| (7) | $A = (i \times (1 + i)^n) / ((1 + i)^n - 1)$ | n = Ekonomisk livslängd (år) |

Bilaga 3. Comparisons for min/m3fub

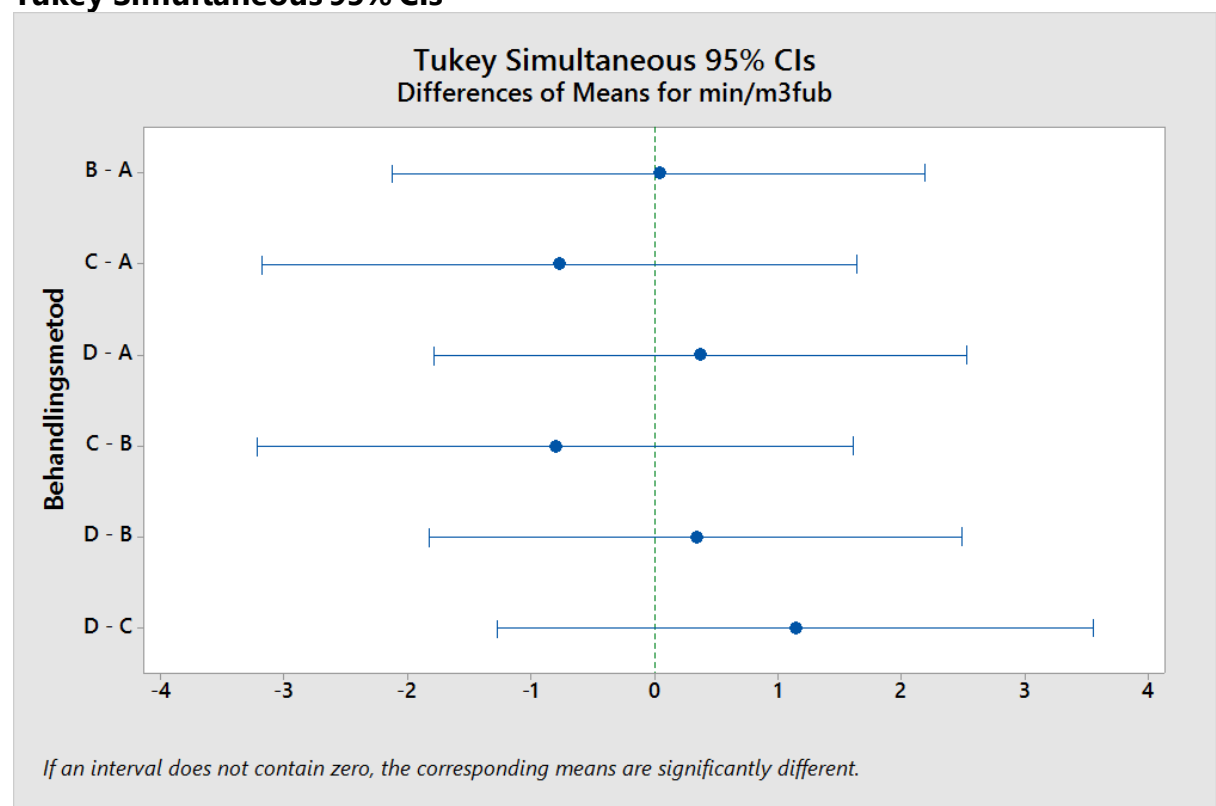
Tukey Pairwise Comparisons: Response = min/m3fub, Term = Behandlingsmetod

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Behandlingsmetod	N	Mean	Grouping
D	3	5,70676	A
B	3	5,37486	A
A	3	5,34306	A
C	2	4,56863	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous 95% CIs



General Linear Model: min/m3fub versus Skördad medelstam (m3fub); Behandlingsmetod

Skördad medelstam har angetts som covariat!

Method

Factor coding (-1; 0; +1)
Rows unused 1

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Behandlingsmetod	Fixed	4	A; B; C; D

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Skördad medelstam (m3fub)	1	4,1251	4,12514	74,05	0,000
Behandlingsmetod	3	0,6156	0,20521	3,68	0,082
Error	6	0,3343	0,05571		
Total	10	6,0468			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,236029	94,47%	90,79%	85,40%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	11,081	0,682	16,26	0,000	
Skördad medelstam (m3fub)	-92,3	10,7	-8,61	0,000	1,99
Behandlingsmetod					
A	-0,263	0,127	-2,06	0,085	1,75
B	0,323	0,123	2,63	0,039	1,62
C	0,270	0,177	1,53	0,178	2,76

Regression Equation

Behandlingsmetod

A	min/m3fub = 10,818 - 92,3 Skördad medelstam (m3fub)
B	min/m3fub = 11,403 - 92,3 Skördad medelstam (m3fub)
C	min/m3fub = 11,351 - 92,3 Skördad medelstam (m3fub)
D	min/m3fub = 10,751 - 92,3 Skördad medelstam (m3fub)